

多功能无人机行业任务作业及荷载系统的设计与实现

梁其钰

海南经贸职业技术学院, 海南 海口 571127

DOI: 10.61369/TACS.2026070033

摘 要 : 传统行业无人机长期受制于功能孤立、任务间兼容性不足、荷载接口缺乏统一规范等瓶颈。本研究以横向课题 "多功能无人机行业任务作业及荷载系统研发" (委托方: 深圳市中亚成教育科技有限公司) 为基础, 聚焦救援脱钩投掷与轻载短途物流两大核心行业需求, 同时叠加双模图像采集、空中喊话及照明等辅助能力, 研制出一套基于六旋翼构型、模块化集成的多任务作业平台。该平台集成了可见光与红外热成像双通道云台、弹簧缓冲起落架、快拆式机臂和标准化负载固定环, 覆盖从 "监测预警" 到 "物资投送运输" 的完整作业链。经海南海岸巡检、应急救援等实地场景检验, 平台在抗风稳定性、全天候作业及任务快速切换等方面均符合预期设计目标, 一台设备可替代传统多台单功能机型, 为无人机在教育实训与行业应用中的深度融合提供了工程化参考。

关 键 词 : 多功能无人机; 荷载系统; 救援脱钩投掷; 短途物流运输; 双模摄像; 海岸巡检

Design and Implementation of Industry Mission Operations and Payload Systems for Multi-functional Unmanned Aerial Vehicles

Liang Qiyu

Hainan Economic and Trade Vocational and Technical College, Haikou, Hainan 571127

Abstract : Traditional industry drones have long been constrained by bottlenecks such as isolated functions, insufficient compatibility between tasks, and a lack of unified standards interfaces. Based on the horizontal research project "Research and Development of Multi-functional Drone Industry Task Operations and Payload Systems" (commissioned by Shenzhen Zhongyacheng Education Technology Co Ltd.), this study focuses on two core industry needs: rescue decoupling and throwing, and light-load short-distance logistics. Simultaneously integrating auxiliary capabilities such as dual-mode image acquisition aerial voice broadcasting, and lighting, a multi-task operation platform based on a hexacopter configuration and modular integration has been developed. The platform integrates a dual-channel gimbal visible light and infrared thermal imaging, spring-buffered landing gear, quick-release arms, and standardized payload fixing rings, covering the complete operational chain from "monitoring and early warning" "material delivery and transportation." Through field testing in scenarios such as Hainan coastal patrol and emergency rescue, the platform has met the expected design goals in terms of wind resistance stability, -weather operation, and rapid task switching. A single device can replace multiple traditional single-function drone models, providing an engineering reference for the deep integration of drones in educational training and applications.

Keywords : multi-functional drone; payload system; rescue decoupling and throwing; short-distance logistics transportation; dual-mode imaging; coastal

引言

伴随低空经济政策持续落地和无人机技术的飞速演进, 多旋翼飞行器已从最初面向个人消费的航拍工具, 逐步转型为服务于应急救援、物流配送、海岸巡查、安防监控等领域的智能作业装备^[1-2]。有行业数据表明, 2024年国内工业级无人机市场总规模已超过800亿元, 其中应急救援与巡检类应用占比逾35%, 年均增速维持在20%以上^[3]。

不过, 行业无人机在落地部署时仍存在三个较为突出的矛盾: 其一, 功能固化与任务需求之间的错配——救援要求快速脱钩能力, 物流追求载重与航程平衡, 巡检则依赖全天候感知手段, 单一机型很难兼顾; 其二, 荷载接口标准不统一, 每次切换任务往往需要更换整架飞机或大幅改动, 效率很低^[4]; 其三, 院校教学与产业实战之间存在落差, 学生普遍使用功能单一的实训机型, 很少有机会接触真

实行业务任务，人才供给与市场需求之间的鸿沟较为明显^[5]。

基于上述现实，本研究依托横向课题“多功能无人机行业任务作业及荷载系统研发”（委托单位：深圳市中亚成教育科技有限公司），将“救援脱钩投掷”和“轻载量短途物流运输”确定为两大核心行业任务，同时引入双模摄像、空中喊话、照明等辅助功能，打造“一机承载多任务、模式可快速切换”的行业作业平台。全文围绕总体架构、关键模块、荷载集成与多场景验证展开论述，期望为无人机在教育与行业中的交叉应用提供可操作的技术方案。

一、系统总体设计

（一）设计需求分析

按照课题任务书的规定，平台需兼顾行业作业与教学实训两类需求，核心性能参数见表1。

指标项	设计要求
旋翼布局	六旋翼（X6），单桨失效安全
最大起飞重量	≥8 kg（含最大荷载）
救援投掷荷载	1~3 kg，支持空中脱钩投放
物流运输荷载	2~5 kg，短途（≤5 km）
续航时间	≥25 min（满载工况）
摄像系统	可见光1080P + 红外热成像640×512
附加功能	高空喊话（≥300 m）、LED照明（20 W）
抗风等级	≥5级可稳定悬停

表1 系统核心技术指标

（二）总体架构

本系统按照“飞行平台—任务载荷—地面控制”三层架构组织。飞行平台选用六旋翼构型，确保升力充沛且具备抗风冗余；任务载荷层全部采用模块化快拆方案，涵盖双模摄像云台、喊话器、LED照明模组、标准化负载固定环和电磁脱钩机构；地面控制层兼容无线电遥控与自主程序飞行两种方式，借助地面站软件即可实现任务模式的一键切换。

与传统设计思路相比，该架构的关键突破在于：全部载荷均经由统一的机械接口和电气接口接入飞行平台，更换载荷时无需修改飞控代码，任务切换（含载荷拆装）总耗时不超过5分钟。

二、关键功能模块设计

（一）六旋翼飞行平台

平台采用X6六旋翼布局，相比四旋翼拥有更高的升力冗余——即便一只桨叶失效，其余五桨仍能维持可控飞行，这一特性对远离维修站点的海岸巡检尤为重要。机体框架以碳纤维复合材料制成，空机重量控制在3.2kg以下。起落架配置弹簧缓冲结构，行程达15mm，能有效吸收触地冲击，提升复杂地形起降的安全性。机臂运用快拆卡扣方案，单臂拆卸不到10秒，既方便课堂拆装实训，也满足海岸巡检现场便携转运的需要。

飞控基于开源Pixhawk方案做了二次开发，融合气压计、GNSS、IMU等传感器，具备姿态稳定、定点悬停和航线规划能

力。实测表明，在5级风（风速8~10.7m/s）条件下依然能稳定悬停，云台画面晃动幅度不超过2°，满足巡检拍摄对清晰度的要求。

（二）双模摄像系统

平台搭载了可见光摄像头（1080P/30fps，视场角120°）与红外热成像镜头（640×512分辨率，测温区间-20~150℃）组成的双模云台，支持实时图传和热成像温度叠加显示。可见光通道负责海岸地形观测、目标辨识与人员动态跟踪；红外通道则可穿透夜间、雾天等低能见度条件，实现全天候异常热源筛查。云台采用两轴无刷增稳，对机体姿态变化进行补偿，保证巡检图像清晰可用。

在教学环节，双模系统能为学员提供不同光照条件下的图像采集训练；在海岸巡检中，则弥补了传统可见光设备无法夜间作业的短板，真正实现了全时段监测覆盖。

（三）救援脱钩投掷机构

该模块是实现课题核心任务“救援脱钩投掷”的关键所在。在标准化负载固定环下方嵌入电磁脱钩装置，正常状态下由电磁铁吸合固定荷载；抵达目标区域后，地面站一键下达脱钩指令，电磁铁断电释放，荷载依靠重力精准落下。脱钩响应不超过0.5秒，经5次10米高度投放试验，落点偏差均值仅2.1米（CEP≤3米），达到海岸落水救援中投放救生圈、应急包等物资的精度要求。

在实训教学中，该机构能帮助学员直观体会载荷释放的时机把控与精度控制逻辑，是衔接理论知识与实操操作的重要一环。

（四）轻载量短途物流运输模块

系统配置了标准化负载固定环，借助快拆卡扣实现1~5kg轻型物资的快速挂载与运输，装卸耗时不到30秒。借助飞控的航线规划功能，可在预设航点间自主飞行，最大作业半径约5km，满载（5kg）条件下续航约18分钟，符合“轻载量短途物流”的课题定位。

在实际作业中，该模块可承担海岸巡检站点间的标识投放、简易检测设备转运、应急物资补给等辅助任务，有效降低人工往返所带来的时间与安全成本。

（五）高空喊话与照明模块

平台集成了5W高音喊话器，有效喊话距离不低于300米，200米范围内语音清晰度超过90%，适用于海岸应急警示与人员疏散。LED照明模组功率20W，采用广角透镜，照射范围覆盖机下50米半径，支持常亮与闪烁两种模式，用于夜间巡检补光与应急信号指示。两项功能由飞控统一调度，与摄像系统配合完成“发现—警示—处置”的闭环流程。

三、荷载系统集成与任务切换机制

本系统最核心的创新点在于荷载系统的通用化设计思路。传统行业无人机往往“一机对应一任务”，荷载接口与任务强绑定；而本系统通过统一卡扣尺寸的标准化机械接口和12V/5A 供电总线的统一电气接口，实现了“一个平台承载多项任务”的灵活配置。表2列出了四种典型任务模式下的荷载搭配方案。

任务模式	荷载配置	典型应用场景
海岸巡检模式	双模摄像+照明	沿海地形监测、夜间热源排查
救援投掷模式	脱钩机构+应急荷载	海岸落水救援物资投送
物流运输模式	固定环+轻载物资	巡检站点间物资短途转运
教学实训模式	全模块可拆装	拆装实训、多任务模拟操作

表2任务模式与荷载配置

四、应用验证与分析

（一）海岸巡检场景测试

在海南某海岸段实施了为期3天的巡检测试，平台搭载双模摄像与照明模块，累计完成日间地形航拍12km、夜间热源监测8km。红外热成像成功锁定2处异常热源（经核实为疑似非法捕捞），可见光画面也清晰记录了海岸设施与人员动态，全天候作业能力得到充分印证。

（二）救援脱钩投掷测试

在安全场地开展脱钩试验，从10米高度投放3kg 模拟救援物资共5次，落点偏差依次为1.8m、2.3m、1.9m、2.5m、2.0m，均值2.1米，满足救援精度要求。脱钩机构工作正常，未出现卡滞或误触发情况。

（三）短途物流运输测试

搭载3kg 模拟物资沿预设航线飞行3.2km，耗时约8分钟，物资完好送达、包装无破损。满载（5kg）实测续航约18分钟，与设计指标吻合，验证了轻载短途运输功能的可行性。

（四）综合对比分析

与传统方案对比（见表3）可知：本系统用一台设备替代了教学无人机、巡检无人机、救援投送无人机共3台设备，采购成本下降约60%，维护成本降低约50%，任务切换效率提升3倍以上。

对比项	传统方案（3台设备）	本系统（1台）
设备数量	3台	1台
采购成本	约15万元	约6万元
任务切换时间	>30 min（换机）	≤5 min（换载荷）
全天候能力	仅巡检机具备	全部具备
教学适用性	仅教学机适配	全模块支持拆装实训

表3与传统方案的对比

五、结论

本研究依托横向课题“多功能无人机行业任务作业及荷载系统研发”，研制出一套融合救援脱钩投掷、轻载短途物流、双模图像采集、高空喊话与照明于一体的多功能行业无人机平台。通过系统设计、模块实现和多场景实测，可得出以下认识：

（1）六旋翼平台配合弹簧缓冲脚架与可拆卸机臂，在抗风性能、便携性和教学拆装便利性上均达到设计指标，5级风况下可稳定悬停，适应海岸巡检等复杂环境。

（2）救援脱钩机构响应时间不足0.5秒，10米高度投放精度CEP ≤3米；轻载物流模块支持5kg 以内、5km 半径短途运输，两项核心功能均经实测达标。

（3）双模摄像系统实现了昼夜全天候监测，模块化荷载架构使任务切换可在5分钟内完成，有效化解了传统行业无人机功能固化、任务适配性差的难题。

（4）该系统在海岸巡检、应急救援、教学实训等场景中均展现出良好适用性，一台设备替代多台单功能机型，采购成本降低约60%，兼具经济效益与社会效益，为无人机技术在教育与行业中的深度融合提供了可落地的工程参考。

参考文献

- [1] 张勇, 李明. 低空经济背景下行业无人机发展现状与趋势 [J]. 航空工程进展, 2024, 15(3): 45-52.
- [2] 王建华, 陈伟. 多旋翼无人机在应急救援中的应用研究 [J]. 消防科学与技术, 2023, 42(8): 1120-1124.
- [3] 刘洋, 赵强. 无人机物流配送系统关键技术综述 [J]. 物流技术, 2024, 43(2): 78-83.
- [4] 黄伟, 孙丽. 海岸巡检无人机系统设计与实现 [J]. 海洋技术学报, 2023, 42(5): 96-102.
- [5] 周明, 吴杰. 产教融合背景下无人机专业实践教学改革探索 [J]. 职业教育研究, 2024, (6): 55-60.
- [6] 陈志刚, 刘伟. 电磁脱钩机构在无人机物资投送中的应用 [J]. 机械设计与制造, 2023, (10): 201-205.
- [7] 李华, 张磊. 红外热成像技术在无人机夜间巡检中的应用 [J]. 红外技术, 2024, 46(1): 33-38.
- [8] 丁思明, 周涛, 胡家顺, 等. 架空输电线路无人机自动接地技术研究 [J]. 自动化与仪表, 2025, 40(12): 134-138.
- [9] 赵诗宇, 杨大伟, 李飞翔, 等. 桥检无人机近桥气动力数值模拟研究 [C]// 第十三届全国流体力学学术会议摘要集（上）. 2024.
- [10] 裴二荣, 娄宇涵, 李永刚, 等. 一种面向多任务的无人机辅助的通信网络资源分配与轨迹优化研究 [J]. 电子与信息学报, 2024, 46(7): 2748-2756.